

Adaptation des impédances

Application aux coupleurs d'antennes

Impedantieaanpassing

toegepast op antennekoppelaars

Par/door ON5WF (MNS) - Vertaling: ON5UK

9^{ème} partie / Deel 9

14. Calcul des coupleurs en T et en PI

Dans cette deuxième partie sur le calcul des coupleurs, nous nous intéresserons aux coupleurs en T et en PI. Comme pour les coupleurs en L, nous supposons que l'impédance de sortie \bar{Z}_s du générateur est purement résistive que les réactances X_1, X_2 et X_3 du coupleur sont parfaites (figure 82).

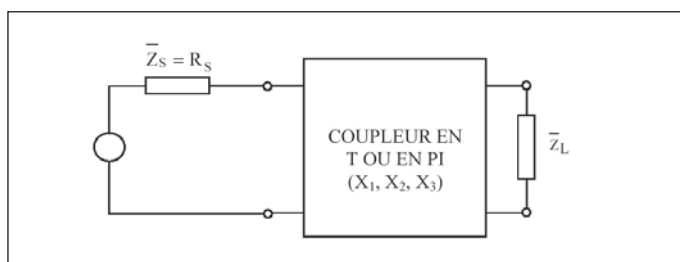


Fig. 82. On désire calculer les éléments X_1, X_2 et X_3 du coupleur, en fonction des impédances Z_s et Z_L à adapter.

Fig. 82. We willen X_1, X_2 en X_3 van het koppelnetwerk berekenen als functie van de aan te passen impedanties Z_s en Z_L .

Le calcul est un peu plus compliqué ici car nous avons à déterminer trois réactances au lieu de deux dans le cas des coupleurs en L. Nous avons donc besoin de trois équations, c'est-à-dire trois relations liant les trois inconnues X_1, X_2 et X_3 . La condition d'adaptation des impédances nous en donne deux.

La troisième peut être obtenue en imposant par exemple, une certaine valeur au facteur de qualité du circuit complet (générateur + coupleur + charge); cela revient à imposer la sélectivité du circuit. Une autre méthode, que nous appliquerons ici, consiste à se donner la valeur d'une des trois réactances, celle de sortie (X_3) par exemple.

14.1. Coupleurs en T

Considérons le circuit de la figure 83 dans lequel un coupleur en T réalise l'adaptation entre un générateur d'impédance de sortie $\bar{Z}_s = R_s$ et une charge $\bar{Z}_L = R_L + jX_L$.

Si nous imposons une valeur pour la réactance X_3 , nous pouvons regrouper cette réactance avec la réactance X_L de la charge. En appelant X'_L la réactance résultante, nous avons:

$$X'_L = X_3 + X_L \quad (1)$$

Nous sommes alors ramenés à un coupleur en L inversé (figure 84) avec une charge \bar{Z}'_L telle que

$$\bar{Z}'_L = R_L + jX'_L \quad (2)$$

Comme nous l'avons vu dans la 8^{ème} partie de cet article, on se ramène ensuite à un coupleur en L inversé avec une charge purement résistive. Pour ce faire, on met l'impédance \bar{Z}'_L sous la forme parallèle (figure 85). Les relations de transformation série-parallèle donnent alors:

14. Berekening van T- en PI-koppelnetwerken

In dit tweede deel over de berekening van koppelnetwerken gaan we wat dieper in op de T- en PI-netwerken. Zoals bij de L veronderstellen we dat de uitgangsimpedantie \bar{Z}_s van de generator een zuivere weerstand is en dat de reactanties X_1, X_2 en X_3 ideale eigenschappen bezitten (figuur 82).

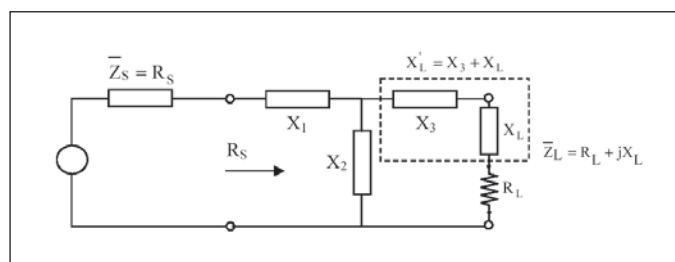


Fig. 83. La réactance X_3 étant imposée, on peut remplacer X_3 en série avec X_L par une réactance équivalente X'_L .

Fig. 83. Als we een waarde toekennen aan X_3 , kan de serieschakeling van X_3 en X_L vervangen worden door de equivalente reactantie X'_L .

Omdat we deze maal drie reactanties moeten berekenen, is de berekening iets ingewikkelder dan in het geval van de L. We moeten beschikken over drie vergelijkingen waaruit we de drie onbekenden X_1, X_2 et X_3 kunnen afleiden. De voorwaarden voor aanpassing van de impedanties geven er twee. De derde wordt verkregen door bijvoorbeeld een waarde op te leggen aan de kwaliteit van de hele schakeling (generator + koppelnetwerk + belasting), wat overeenkomt met een vereiste voor de selectiviteit van het circuit. Een andere werkwijze, die we hier zullen toepassen, is een waarde toekennen aan één van de drie reactanties, bijvoorbeeld aan X_3 .

14.1. Het T-koppelnetwerk

Bekijken we even figuur 83 waarin de aanpassing tussen de generator met uitgangsimpedantie $\bar{Z}_s = R_s$ en de belasting $\bar{Z}_L = R_L + jX_L$ gerealiseerd wordt met behulp van een T-netwerk.

Indien we een waarde geven aan X_3 kunnen we de serieschakeling van X_3 en X_L vervangen door X'_L :

$$X'_L = X_3 + X_L \quad (1)$$

Dit brengt ons terug tot de schakeling van een omgekeerde L (figuur 84) met een belasting \bar{Z}'_L zodat

$$\bar{Z}'_L = R_L + jX'_L \quad (2)$$

Zoals beschreven in het 8^{ste} deel van dit artikel, herleiden we deze schakeling terug tot een omgekeerde L met een zuivere weerstand als belasting. Om dat te verkrijgen berekenen we de equivalente parallelschakeling van de serieschakeling van R_L en X'_L (figuur 85). De transformatieformules van serie naar parallel geven:

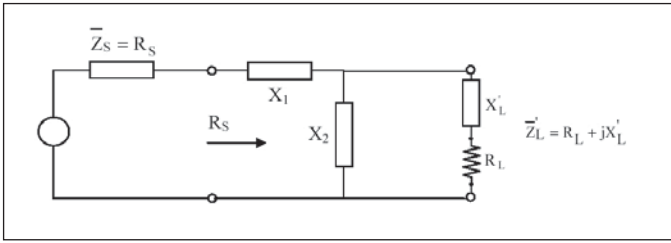


Fig. 84. Le coupleur en T de la figure 83 à été réduit à un coupleur en L inversé avec une charge $\bar{Z}_L = R_L + jX'_L$

Fig. 84. Het T-netwerk van figuur 83 is nu herleid tot een omgekeerde L met belasting

$$\bar{Z}_L = R_L + jX'_L$$

$$R'_L = \frac{R_L^2 + X_L'^2}{R_L} \quad (3)$$

et

$$X_L'' = \frac{R_L^2 + X_L'^2}{X_L'} \quad (4)$$

On remplace ensuite les deux réactances X_2 et X''_L en parallèle par une réactance X'_2 équivalente:

$$\frac{1}{X'_2} = \frac{1}{X_2} + \frac{1}{X''_L} \quad (5)$$

En appliquant les relations 21 et 22 établies dans la 8ème partie de cet article, on obtient pour X_1 et X'_2 :

$$X_1 = \pm R_S \sqrt{\frac{R'_L - R_S}{R_S}} \quad (6)$$

$$X'_2 = \mp R'_L \sqrt{\frac{R_S}{R'_L - R_S}} \quad (7)$$

De la relation (5), on tire X_2 :

$$\frac{1}{X_2} = \frac{1}{X'_2} - \frac{1}{X''_L} \quad (8)$$

Rappelons que pour un T passe-haut, X_1 et X_3 sont négatifs (capacités) et X_2 est positif (inductance). Pour un T passe-bas, X_1 et X_3 sont positifs (inductances) et X_2 est négatif (capacité).

EXEMPLE 1

Soient $R_S = 50 \Omega$ et $\bar{Z}_L = (25 + j20) \Omega$. Calculer les éléments du coupleur en T passe-haut permettant de réaliser l'adaptation à la fréquence de 7,05 MHz.

SOLUTION

On s'impose la valeur de la réactance de sortie X_3 en prenant $C_{out} = 150 \text{ pF}$ (figure 86). On peut alors calculer cette réactance:

$$X_3 = \frac{-1}{2\pi f C_{out}} = \frac{-1}{2\pi * 7.05 * 10^6 * 150 * 10^{-12}} = -150,5 \Omega$$

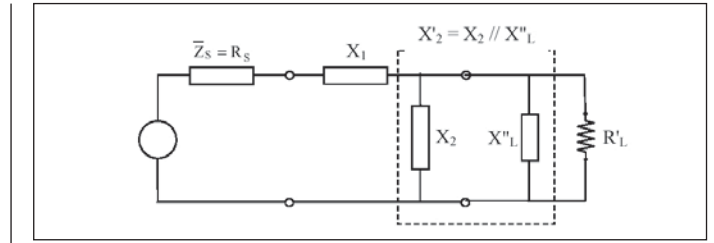
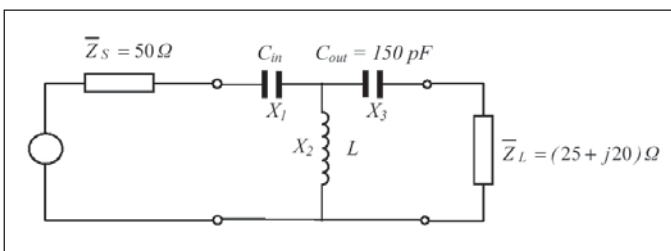


Fig. 85. L'impédance de charge \bar{Z}_L a été mise sous la forme parallèle ($R'_L // X''_L$); on peut alors remplacer X_2 en parallèle avec X''_L par la réactance équivalente X'_2 .

Fig. 85. De impedantie van de belasting \bar{Z}_L werd omgezet naar een parallelschakeling ($R'_L // X''_L$); men kan dan de parallelschakeling van X_2 en X''_L vervangen door de equivalente reactantie X'_2 .

$$R'_L = \frac{R_L^2 + X_L'^2}{R_L} \quad (3)$$

en

$$X_L'' = \frac{R_L^2 + X_L'^2}{X_L'} \quad (4)$$

Vervolgens vervangt men de parallelschakeling van X_2 en X''_L door de equivalente reactantie X'_2 :

$$\frac{1}{X'_2} = \frac{1}{X_2} + \frac{1}{X''_L} \quad (5)$$

Na toepassing van de vergelijkingen (21) en (22) uit deel 8 van dit artikel, verkrijgt men voor X_1 en X'_2 :

$$X_1 = \pm R_S \sqrt{\frac{R'_L - R_S}{R_S}} \quad (6)$$

$$X'_2 = \mp R'_L \sqrt{\frac{R_S}{R'_L - R_S}} \quad (7)$$

Uit (5) volgt X_2 :

$$\frac{1}{X_2} = \frac{1}{X'_2} - \frac{1}{X''_L} \quad (8)$$

We herinneren eraan dat pour hoogdoorlaat T de reactanties X_1 et X_3 négatif (capaciteiten) zijn en dat X_2 positif (een spoel) is. Voor een laagdoorlaat T zijn X_1 et X_3 positif (spoelen) en is X_2 négatif (capaciteit).

VOORBEELD 1

Veronderstel $R_S = 50 \Omega$ et $\bar{Z}_L = (25 + j20) \Omega$.

Bereken de elementen van een hoogdoorlaat T voor aanpassing op 7,05 MHz.

OPLOSSING

We geven de reactantie X_3 aan de uitgang een waarde die overeenkomt met een $C_{out} = 150 \text{ pF}$ (figuur 86). De reactantie van X_3 is dan:

Fig. 86. T passe-haut; on se donne $C_{out} = 150 \text{ pF}$.

Fig. 86. De hoogdoorlaat-T; we maken $C_{out} = 150 \text{ pF}$.

L'impédance \bar{Z}'_L vaut:

$$\bar{Z}'_L = \bar{Z}_L + jX_3 = R_L + j(X_L + X_3) = R_L + jX'_L = (25 - j130,5)\Omega$$

L'impédance \bar{Z}'_L est mise sous la forme parallèle, ce qui donne, en appliquant les relations (3) et (4):

$$R'_L = 706,2 \Omega \quad \text{et} \quad X''_L = -135,3 \Omega$$

Pour un T passe-haut, X_1 est négatif; la relation (6) donne:

$$X_1 = \frac{-1}{2\pi f C_{in}} = -R_S \sqrt{\frac{R'_L - R_S}{R_S}} = -181,1 \Omega$$

D'où la valeur de C_{in} :

$$C_{in} = \frac{-1}{2\pi f X_1} = \frac{-1}{2\pi * 7,05 * 10^6 * (-181,1)} = 124,7 * 10^{-12} \text{ F} \quad \text{Soit: } 124,7 \text{ pF}$$

La relation (7) donne pour X'_2 :

$$X'_2 = +R'_L \sqrt{\frac{R_S}{R'_L - R_S}} = 194,9 \Omega$$

Finalement, la relation (8) nous permet de calculer X_2 :

$$X_2 = 2\pi f L = \left(\frac{1}{X'_2} - \frac{1}{X''_L} \right)^{-1} = 79,86 \Omega$$

Ce qui donne pour l'inductance L:

$$L = \frac{79,86}{2\pi * 7,05 * 10^6} = 1,803 * 10^{-6} \text{ H} \quad \text{Soit: } 1,803 \mu\text{H}$$

En résumé, les valeurs des trois éléments du T passe-haut sont:

$$C_{in} = 124,7 \text{ pF} \quad L = 1,803 \mu\text{H} \quad C_{out} = 150 \text{ pF}$$

Comme les relations (6) et (7) le montrent, les réactances X_1 et X'_2 (et donc aussi X_2) ne sont physiquement réalisables que si l'expression sous la racine est positive. Il faut donc avoir $R'_L - R_S > 0$. Comme R'_L est fonction, par la relation (3), de $X'_L = X_L + X_3$, on en déduit qu'il peut y avoir des valeurs de X_3 (et donc de C_{out}) qui ne sont pas permises. Comme cela a été vu dans la 4^{ème} partie de cet article, le problème se pose uniquement pour les impédances \bar{Z}_L dont le point représentatif est situé dans les zones 2 ($R_L < R_S$ et $G_L > 1/R_S$) et 3+ ($R_L < R_S$, $G_L < 1/R_S$ et $X_L > 0$). Dans ces deux cas, les valeurs permises pour la capacité C_{out} du T passe-haut sont données par

$$C_{out} < C_{max} = \frac{1}{2\pi f \left[X_L + \sqrt{R_L(R_S - R_L)} \right]} \quad (9)$$

Dans le cas de l'exemple précédent, la relation (9) donne $C_{out} < 501,7$ pF. Si $C_{out} = C_{max}$, $R'_L - R_S = 0$; dans ce cas, $X_1 = 0$ et $X_2 = X''_L$ et le T passe-haut dégénère en un L direct passe-haut.

14.2. Coupleurs en PI

Le schéma général du coupleur en PI est repris à la figure 87. Comme pour le coupleur en T, on se ramène ici aussi à un coupleur en L, en imposant la valeur de la réactance X_3 . Le calcul est cependant un peu plus compliqué que dans le cas du T, car nous devons calculer l'impédance \bar{Z}'_L équivalente à X_3 en parallèle avec \bar{Z}_L (figure 87). Cette impédance résultante $\bar{Z}'_L = R'_L + jX'_L$ est donnée par les relations suivantes:

$$R'_L = \frac{R_L X_3^2}{R_L^2 + (X_L + X_3)^2} \quad (10)$$

De impedantie \bar{Z}'_L bedraagt:

$$\bar{Z}'_L = \bar{Z}_L + jX_3 = R_L + j(X_L + X_3) = R_L + jX'_L = (25 - j130,5)\Omega$$

Met toepassing van (3) en (4) berekenen we de parallelconfiguratie van \bar{Z}'_L :

$$R'_L = 706,2 \Omega \quad \text{en} \quad X''_L = -135,3 \Omega$$

Voor een hoogdoorlaat T is X_1 negatief; vergelijking (6) geeft:

$$X_1 = \frac{-1}{2\pi f C_{in}} = -R_S \sqrt{\frac{R'_L - R_S}{R_S}} = -181,1 \Omega$$

Waaruit de waarde van C_{in} :

$$C_{in} = \frac{-1}{2\pi f X_1} = \frac{-1}{2\pi * 7,05 * 10^6 * (-181,1)} = 124,7 * 10^{-12} \text{ F} \quad \text{of: } 124,7 \text{ pF}$$

Vergelijking (7) geeft voor X'_2 :

$$X'_2 = +R'_L \sqrt{\frac{R_S}{R'_L - R_S}} = 194,9 \Omega$$

Tenslotte kunnen we met vergelijking (8) X_2 berekenen:

$$X_2 = 2\pi f L = \left(\frac{1}{X'_2} - \frac{1}{X''_L} \right)^{-1} = 79,86 \Omega$$

Dat geeft voor de inductantie L:

$$L = \frac{79,86}{2\pi * 7,05 * 10^6} = 1,803 * 10^{-6} \text{ H} \quad \text{of: } 1,803 \mu\text{H}$$

Samengevat zijn de waarden van de drie elementen van het hoogdoorlaat T-netwerk:

$$C_{in} = 124,7 \text{ pF} \quad L = 1,803 \mu\text{H} \quad C_{out} = 150 \text{ pF}$$

Vergelijkingen (6) en (7) laten zien dat de reactanties X_1 en X'_2 (en dus ook X_2) slechts praktische waarden aannemen als de uitdrukking onder het wortelteken positief is. Daartoe moet $R'_L - R_S > 0$. Omdat R'_L via vergelijking (3) functie is van $X'_L = X_L + X_3$ kan men besluiten dat X_3 (en dus C_{out}) waarden kan aannemen die niet toegelaten zijn. Zoals besproken in deel 4 van dit artikel, stelt het probleem zich enkel voor de impedantie \bar{Z}_L waarvoor het punt dat die impedantie voorstelt ligt in de zones 2 ($R_L < R_S$ et $G_L > 1/R_S$) et 3+ ($R_L < R_S$, $G_L < 1/R_S$ et $X_L > 0$). In die gevallen worden de toegelaten waarden van de capaciteit C_{out} van de hoogdoorlaat T gegeven door:

$$C_{out} < C_{max} = \frac{1}{2\pi f \left[X_L + \sqrt{R_L(R_S - R_L)} \right]} \quad (9)$$

In het vorig voorbeeld volgt uit (9) dat $C_{out} < 501,7$ pF. Indien $C_{out} = C_{max}$ en $R'_L - R_S = 0$ is $X_1 = 0$ en $X_2 = X''_L$ en herleidt het hoogdoorlaat T-netwerk zich tot een hoogdoorlaat rechte L.

14.2. PI-Koppelnetswerken

Figuur 87 toont het algemeen schema van een PI-koppelnetswerk. Zoals voor het T-netwerk herleiden we de PI tot een L door aan X_3 een waarde toe te kennen. De berekening is evenwel iets ingewikkelder dan in het geval van de T. We moeten immers de impedantie \bar{Z}'_L berekenen die de resultante is van de parallelschakeling van X_3 en \bar{Z}_L (figure 87). Deze $\bar{Z}'_L = R'_L + jX'_L$ wordt gegeven door de volgende vergelijkingen:

$$R'_L = \frac{R_L X_3^2}{R_L^2 + (X_L + X_3)^2} \quad (10)$$

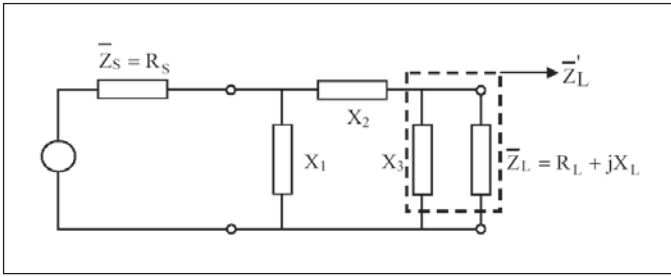


Fig. 87. Adaptation par coupleur en PI.

Fig. 87. Aanpassing met een PI-koppelnetwork.

$$X'_L = \frac{X_3(R_L^2 + X_L^2) + X_3^2 X_L}{R_L^2 + (X_L + X_3)^2} \quad (11)$$

Remarque

Dans le cas où on désirerait utiliser un tableur (EXCEL par exemple) pour effectuer ces calculs, on aura intérêt à utiliser toutes les possibilités de calcul du tableur en ce qui concerne les nombres complexes. Il est alors possible, par exemple, de calculer directement l'impédance \bar{Z}'_L et donc, de se passer des relations (10) et (11).

En remplaçant X_3 en parallèle avec \bar{Z}_L par l'impédance équivalente, on réduit le schéma de la **figure 87** à celui de la **figure 88**. On peut alors regrouper les deux réactances X_2 et X'_L en série en une réactance équivalente X'_2 ; on est ainsi ramené à un coupleur en L direct (X_1, X'_2) avec une charge purement résistive R'_L .

En appliquant les relations (10) et (11) établies dans la 8^{ème} partie de cet article, on obtient:

$$X_1 = \pm R_S \sqrt{\frac{R'_L}{R_S - R'_L}} \quad (12)$$

$$X_2 = X'_2 - X'_L = \mp R'_L \sqrt{\frac{R_S - R'_L}{R'_L}} - X'_L \quad (13)$$

Dans le cas d'un PI passe-bas, X_1 et X_3 sont négatifs (capacités), tandis que X_2 est positif (inductance). Dans le cas d'un PI passe-haut, X_1 et X_3 sont positifs (inductances), tandis que X_2 est négatif (capacité). Comme dans le cas du coupleur en T, les relations (10), (12), et (13) montrent que certaines valeurs de X_3 sont interdites car elles rendent négative l'expression $R_S - R'_L$ sous la racine dans (12) et (13). Pour un PI passe-bas, le problème se pose lorsque le point représentatif de l'impédance de charge \bar{Z}_L se trouve dans les zones 1 ($R_L > R_S$) et 3+ ($R_L < R_S, G_L < 1/R_S$ et $X_L > 0$). Dans ce cas, la capacité C_{out} de sortie du PI passe-bas doit être supérieure à une valeur donnée par:

$$C_{out} > C_{min} = \frac{-S_L + \sqrt{G_L(G_S - G_L)}}{2\pi f} \quad (14)$$

Avec

$$G_L = \text{Re}(\bar{Y}_L) = \text{Re}\left(\frac{1}{\bar{Z}_L}\right) \quad (15)$$

$$S_L = \text{Im}(\bar{Y}_L) = \text{Im}\left(\frac{1}{\bar{Z}_L}\right) \quad (16)$$

$$G_S = \frac{1}{R_S} \quad (17)$$

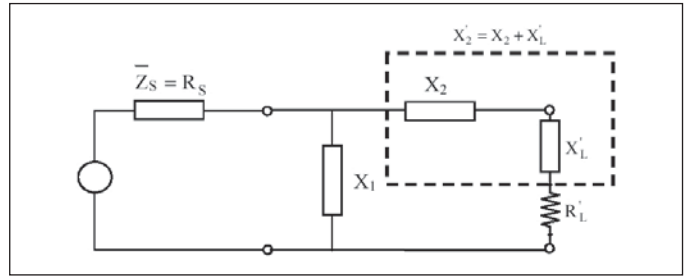


Fig. 88. l'impédance \bar{Z}_L en parallèle avec la réactance X_3 a été remplacée par l'impédance équivalente $\bar{Z}'_L = R'_L + jX'_L$.

Fig. 88. De parallelschakeling van impedantie \bar{Z}_L en de reactantie X_3 is vervangen door de equivalente impedantie $\bar{Z}'_L = R'_L + jX'_L$.

$$X'_L = \frac{X_3(R_L^2 + X_L^2) + X_3^2 X_L}{R_L^2 + (X_L + X_3)^2} \quad (11)$$

Opmerking

Bij gebruik van een rekenblad (bijvoorbeeld EXCEL) voor de berekeningen is het aangewezen alle bestaande mogelijkheden voor het maken van berekeningen met complexe getallen te benutten. Zo wordt het mogelijk de impedantie \bar{Z}'_L te berekenen zonder gebruik te maken van de formules (10) en (11).

Door de parallelschakeling van X_3 met \bar{Z}_L te vervangen door zijn equivalente impedantie herleidt het schema van **figuur 87** tot dat van **figuur 88**. Men kan nu de serieschakeling van de reactanties X_2 en X'_L vervangen door de equivalente reactantie X'_2 ; zo hebben we de schakeling teruggebracht tot een rechte L (X_1, X'_2) met een resistieve belasting R'_L .

Vergelijkingen (10) en (11) uit deel 8 van dit artikel toepassen geeft:

$$X_1 = \pm R_S \sqrt{\frac{R'_L}{R_S - R'_L}} \quad (12)$$

$$X_2 = X'_2 - X'_L = \mp R'_L \sqrt{\frac{R_S - R'_L}{R'_L}} - X'_L \quad (13)$$

In het geval van een laagdoorlaat PI zijn X_1 en X_3 negatief (capaciteiten) en is X_2 positief (spoel). In het geval van een hoogdoorlaat PI zijn X_1 en X_3 positief (spoelen) en is X_2 negatief (capaciteit). Zoals bij de T tonen de vergelijkingen (10), (12) en (13) dat sommige waarden van X_3 niet kunnen omdat ze de uitdrukking $R_S - R'_L$ onder het wortelteken in (12) en (13) negatief maken. Voor een laagdoorlaat PI is dat onder meer het geval als het punt dat de belastingsimpedantie \bar{Z}_L voorstelt zich bevindt in de zones 1 ($R_L > R_S$) en 3+ ($R_L < R_S, G_L < 1/R_S$ en $X_L > 0$). In dat geval moet de uitgangscapaciteit C_{out} van de laagdoorlaat PI groter zijn dan een waarde gegeven door:

$$C_{out} > C_{min} = \frac{-S_L + \sqrt{G_L(G_S - G_L)}}{2\pi f} \quad (14)$$

met

$$G_L = \text{Re}(\bar{Y}_L) = \text{Re}\left(\frac{1}{\bar{Z}_L}\right) \quad (15)$$

$$S_L = \text{Im}(\bar{Y}_L) = \text{Im}\left(\frac{1}{\bar{Z}_L}\right) \quad (16)$$

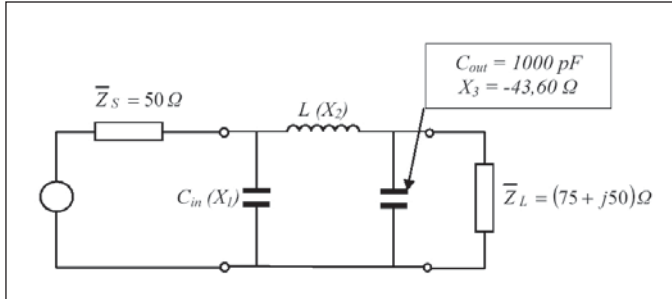
$$G_S = \frac{1}{R_S} \quad (17)$$

EXEMPLE 2

Soient $R_s = 50 \Omega$ et $\bar{Z}_L = (75 + j50) \Omega$. Calculer les éléments du coupleur en PI passe-bas permettant de réaliser l'adaptation à la fréquence de 3,65 MHz.

SOLUTION

On se référera à la figure 89. Comme le point représentatif de l'impédance \bar{Z}_L se trouve dans la zone 1, il y a une limite inférieure pour la capacité de sortie C_{out} . En appliquant la relation 14, on trouve $C_{outmin} = 703,1 \text{ pF}$. Prenons $C_{out} = 1000 \text{ pF}$, ce qui donne pour X_3 :



$$X_3 = \frac{-1}{2\pi f C_{out}} = \frac{-1}{2\pi * 3,65 * 10^6 * 1000 * 10^{-12}} = -43,60 \Omega.$$

On peut maintenant calculer l'impédance \bar{Z}'_L équivalente à X_3 en parallèle avec \bar{Z}_L , en appliquant les relations (10) et (11):

$$\bar{Z}'_L = R'_L + jX'_L = (25,16 - j45,75) \Omega.$$

Ensuite, l'application des relations (12) et (13) donne:

$$X_1 = \pm 50 \sqrt{\frac{25,16}{50 - 25,16}} = \pm 50,32 \Omega \quad \text{et}$$

$$X'_2 = X_2 + X'_L = \mp 25,16 \sqrt{\frac{50 - 25,16}{25,16}} = \mp 25,0 \Omega$$

Pour un PI passe-bas, $X_1 = \frac{-1}{2\pi f C_{in}}$ est négatif. On a donc, pour la capacité d'entrée:

$$C_{in} = \frac{-1}{2\pi f X_1} = \frac{-1}{2\pi * 3,65 * 10^6 * (-50,32)} = 866,5 * 10^{-12} \text{ F}$$

Soit: 866,5 pF

La réactance X_2 vaut:

$$X_2 = 2\pi f L = X'_2 - X'_L = 25,0 - (-45,75) = 70,75 \Omega.$$

D'où la valeur de l'inductance:

$$L = \frac{X_2}{2\pi f} = \frac{70,75}{2\pi * 3,65 * 10^6} = 3,085 * 10^{-6} \text{ H}$$

Soit 3,085 μH

En résumé, les valeurs des trois éléments du PI passe-bas sont:

$$C_{in} = 866,5 \text{ pF} \quad L = 3,085 \mu\text{H} \quad C_{out} = 1000 \text{ pF}$$

Les deux exemples ci-dessus n'ont pas d'autre but que d'illustrer la théorie, mais tous ces calculs peuvent paraître longs et fastidieux à effectuer. A moins de disposer d'une calculatrice capable de traiter les nombres complexes, on résout généralement ce genre de problème soit au moyen de l'abaque de Smith, soit en utilisant un calculateur réalisé par exemple au moyen d'un tableur.

A suivre.

ON5WF (on5wf@uba.be)

VOORBEELD 2

We hebben $R_s = 50 \Omega$ en $\bar{Z}_L = (75 + j50) \Omega$.

Bereken de elementen van een laagdoorlaat PI voor aanpassing op 3,65 MHz.

OPLOSSING

Zie figuur 89. Daar het punt dat de impedantie \bar{Z}_L voorstelt zich in zone 1 bevindt, bestaat er een ondergrens voor de waarde van de uitgangscapaciteit C_{out} . Formule 14 toepassen geeft $C_{outmin} = 703,1 \text{ pF}$. We kiezen $C_{out} = 1000 \text{ pF}$. Dat geeft voor X_3 :

Fig. 89. PI passe-bas; on impose $C_{out} = 1000 \text{ pF}$.

Fig. 89. Laagdoorlaat PI; we kiezen $C_{out} = 1000 \text{ pF}$.

We kunnen nu de impedantie \bar{Z}'_L berekenen, die de waarde heeft van de parallelschakeling van X_3 en \bar{Z}_L . We gebruiken daartoe de vergelijkingen (10) en (11): $\bar{Z}'_L = R'_L + jX'_L = (25,16 - j45,75) \Omega$.

Vervolgens passen we (12) en (13) toe:

$$X_1 = \pm 50 \sqrt{\frac{25,16}{50 - 25,16}} = \pm 50,32 \Omega \quad \text{en}$$

$$X'_2 = X_2 + X'_L = \mp 25,16 \sqrt{\frac{50 - 25,16}{25,16}} = \mp 25,0 \Omega$$

Voor een laagdoorlaat PI is $X_1 = \frac{-1}{2\pi f C_{in}}$ negatief. Voor de ingangscapaciteit geldt dus:

$$C_{in} = \frac{-1}{2\pi f X_1} = \frac{-1}{2\pi * 3,65 * 10^6 * (-50,32)} = 866,5 * 10^{-12} \text{ F}$$

of: 866,5 pF

De reactantie X_2 heeft een waarde:

$$X_2 = 2\pi f L = X'_2 - X'_L = 25,0 - (-45,75) = 70,75 \Omega.$$

Daaruit volgt de waarde van de inductantie:

$$L = \frac{X_2}{2\pi f} = \frac{70,75}{2\pi * 3,65 * 10^6} = 3,085 * 10^{-6} \text{ H}$$

of: 3,085 μH

Samengevat zijn de waarden van de drie elementen van het laagdoorlaat PI-netwerk:

$$C_{in} = 866,5 \text{ pF} \quad L = 3,085 \mu\text{H} \quad C_{out} = 1000 \text{ pF}$$

De twee bovenstaande voorbeelden hebben slechts tot doel de theorie te verduidelijken. De berekeningen kunnen moeilijk en lang lijken. Tenzij men beschikt over een rekenmachine die vlot omgaat met complexe getallen zal men dergelijke problemen meestal oplossen aan de hand van een Smith-kaart of een rekenblad.

Wordt vervolgd.

ON5WF (on5wf@uba.be)